

УДК 629.76

Е.В. Брежнев, А.А. Адаменко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

## МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОЦЕНКИ РИСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

*В статье предлагается использовать нечеткие производственные модели для получения прогнозной оценки риска на этапе качественно-количественного анализа для задачи оценки проектного риска. Особенностью использования алгоритмов нечеткого вывода при решении задачи прогноза является использование алгебры  $\mathcal{F}$ -нечетких множеств с функцией принадлежности интервального вида. Для приведения к четкости предложен подход максимального среднего значения функции принадлежности.*

**Ключевые слова:** проектный риск, прогноз, нечеткие производственные модели,  $\mathcal{F}$ -нечеткие множества, функции принадлежности интервального вида.

### Введение

**Постановка проблемы.** Большинство управленческих решений в экономической сфере, например, при разработке проекта, принимается в условиях риска, что обусловлено отсутствием необходимой, достоверной информации об исследуемом объекте, наличием противоборствующих тенденций со стороны конкурента, элементами случайности и т.д. В этом случае целенаправленная деятельность по управлению риском позволяет оптимизировать риски так, чтобы они совпадали с отношением к нему лица принимающего решение (ЛПР), конкретного бизнеса или организации. Под управлением риском, в соответствии с [1], понимается совокупность методов, приемов и мероприятий, позволяющих прогнозировать появление рискованных событий, их характеристики, снижать отрицательное влияние на эффективность проектных решений.

Эффективность проектных решений определяется точностью прогноза, способностью модели, принятой для анализа риска, учитывать неопределенность параметров, описывающих исследуемый процесс. При принятии решений ЛПР приходится иметь дело с нечеткой, разнородной информацией, причем качественная информация в описании объектов может превалировать над количественной. Кроме того, значительная часть требуемой для анализа информации может быть доступна только в виде экспертных данных либо в описании объектов с использованием естественно-языковых высказываний. Как следствие, часть информации, которая может быть использована для прогнозирования риска с использованием традиционных методов может быть признана некачественной, обладающей недостаточной точностью и неполной для прогнозирования.

Для эффективного риск-менеджмента приходится формировать модель прогнозируемого объекта, когда его границы и возможные состояния имеют нечеткое описание. В этом случае, с учетом нечеткой информации, построение адекватной модели объекта для получения прогнозной оценки риска

является проблематичным и не может быть решено существующими детерминированными методами качественно-количественного анализа рисков в экономической сфере.

**Анализ литературы.** Распространенными методами качественно-количественного анализа риска и получения его прогнозных оценок в экономической сфере являются статистический метод и метод экспертных оценок [2, 3]. Суть статистического метода заключается в том, что по статистике потерь и прибылей, имевших место при разработке подобных проектов, устанавливается величина и частотность получения экономического результата и составляется наиболее вероятный прогноз на некоторый интервал  $\Delta T$ . Однако этот метод требует наличия значительного массива точных входных данных, которые не всегда имеются в распоряжении ЛПР, а сбор и обработка данных могут потребовать дополнительных материальных затрат. Следует отметить, что новый бизнес-проект, по сути, является единичным (уникальным) событием, имеющим индивидуальные особенности. Это обуславливает отсутствие выборки достаточного объема, которая не позволяет эффективно использовать методы математической статистики для получения точного прогноза и формирования на его основе обоснованных управленческих решений.

Методы экспертных оценок [2, 3] основываются на получении прогнозных оценок риска при обработке мнений опытных предпринимателей или специалистов. Это особенно эффективно при решении сложных слабоформализуемых проблемных ситуаций, когда неполнота и недостоверность информации не позволяют использовать статистические или другие формализованные методы для количественной оценки риска. Недостатками являются отсутствие гарантий достоверности полученных оценок, а также трудности в проведении опроса экспертов и обработке полученных данных. Кроме того, часть информации, которая может быть использована для проведения анализа, представляется ЛПР в естественно-языковой форме, однако эксперт-

ные методы не обладают возможностью их формализации для непосредственного использования.

Таким образом, при решении задач прогнозирования оценок риска детерминированные методы не достаточно эффективны и ориентированы на точное представление исходных данных. Это требует дополнения риск-менеджмента новыми более эффективными математическими методами, учитывающими нечеткость информации при разработке бизнес-проектов. В сочетании с традиционными методами это позволит повысить обоснованность принимаемых ЛПР решений в экономической сфере.

**Цель статьи** состоит в разработке подхода к получению прогнозной оценки риска с использованием нечетких продукционных моделей.

### Раздел основного материала

Оценки риска проводятся с учетом динамики развития проекта. В этом случае приходится учитывать неопределенности, сопровождающие проект не только на данном этапе, но и на некотором прогнозном периоде времени.

Нечеткие продукционные модели являются наиболее общим видом нечетких моделей, которые используются для описания, анализа и моделирования сложных систем и процессов. Эти модели могут быть использованы для построения прогнозирующих систем, на вход которых поступает информация о возможных значениях параметров, описывающих данный процесс, а на выходе выдается информация о прогнозной величине риска. Одним из важных требований к прогнозирующей системе является точность прогноза. Одним из важных условий точности прогноза является правильный выбор модели, т.е. выполнение условия адекватности математической модели исследуемому явлению.

При использовании нечетких выводов модели объектов прогнозирования могут быть построены путем проектирования и настройки нечетких баз знаний, представляющих собой совокупности лингвистических высказываний типа [4]

**ЕСЛИ**  $x$  есть  $A$ , **ТО**  $y$  есть  $B$ ,

где  $x$  – входная переменная,  $x \in X$ ,  $X$  – область определения предпосылки нечеткого продукционного правила;  $A$  – нечеткое множество, определенное на  $X$ , с функцией принадлежности  $\mu_A(x) \in [0, 1]$ ;  $y$  – выходная переменная,  $y \in Y$ , где  $Y$  – область определения заключения;  $B$  – нечеткое множество, определенное на  $Y$ , с функцией принадлежности  $\mu_B(y) \in [0, 1]$ .

Процесс получения результата прямого нечеткого вывода  $V'$  с использованием нечеткой импликации  $A \rightarrow B$  и нечеткого условия “ $x'$  есть  $A'$ ” можно представить в виде

$$V' = A' \bullet B' = A' \bullet (A \rightarrow B),$$

где  $\bullet$  – операция свертки (композиционное правило нечеткого логического вывода).

Функцию принадлежности нечеткого множества  $V'$  можно представить в виде

$$\mu_{V'}(y) = \sup_{x \in X} \{ \mu_{A'}(x) T \mu_R(x, y) \},$$

где  $T$  – операция  $T$ -нормы;  $\mu_R(x, y)$  – функция принадлежности нечеткого отношения  $R$ , которое рассматривается как нечеткое подмножество прямого произведения  $X \times Y$  полного множества предпосылок  $X$  и заключений  $Y$ .

Особенность использования нечетких продукционных моделей для решения задачи управления риском и получения его прогнозной оценки состоит в возможности представления на вход нечеткой модели  $R$  объекта не точечных значений фиксированного вектора  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ , а интервальных:

$$X^* = [(x_1^*, \bar{x}_1^*), (x_2^*, \bar{x}_2^*), \dots, (x_n^*, \bar{x}_n^*)].$$

С использованием описанных выше соотношений, представленный подход позволяет вектору входных переменных

$$X^* = [(x_1^*, \bar{x}_1^*), (x_2^*, \bar{x}_2^*), \dots, (x_n^*, \bar{x}_n^*)],$$

поставить в соответствие решение о величине риска, т.е.

$$X^* = [(x_1^*, \bar{x}_1^*), (x_2^*, \bar{x}_2^*), \dots, (x_n^*, \bar{x}_n^*)] \rightarrow \\ \rightarrow r_j \in RP = (r_1, r_2, \dots, r_m).$$

Действительно, эксперту сложно определить точную оценку, например, уровня инфляции –  $x_4$ , на некоторый период  $T_0 + \Delta T$ . Более простой задачей является представить значение этого параметра в виде некоторого интервала  $[\underline{x}_4, \bar{x}_4]$ , границы которого – нижняя и верхняя оценка соответственно.

Представив на вход нечеткой модели  $R$  интервальное значение входного параметра, на выходе получаем интервальное значение функции принадлежности для соответствующей лингвистической переменной. При этом рассматривается  $\mathcal{Q}$ -нечеткое множество [5], каждое значение функции принадлежности которого является не точкой, а фиксированным интервалом в  $[0, 1]$  и в общем виде может быть записана как

$$\mu_A(x) : X \rightarrow 2^{[0,1]}.$$

Следует отметить, что алгебра  $\mathcal{Q}$ -нечетких множеств является булевой алгеброй и для нечетких множеств, изменяющих уровень принадлежности, операции пересечения и объединения определены как [5]

$$\mu_{A \cap B} = [\min \{r_1(x), s_1(x)\}, \min \{r_2(x), s_2(x)\}] = \\ = [\underline{\mu}_C(x), \bar{\mu}_C(x)];$$

$$\mu_{A \cup B} = [\max \{r_1(x), s_1(x)\}, \max \{r_2(x), s_2(x)\}] = \\ = [\underline{\mu}_M(x), \bar{\mu}_M(x)],$$

где  $[r_1(x), s_1(x)]$  – интервальные оценки функции принадлежности параметра  $x$  нечеткому множеству  $A$ ;  $[r_2(x), s_2(x)]$  – интервальные оценки функции принадлежности параметра  $x$  нечеткому множеству  $B$ ;  $[\underline{\mu}_C(x), \bar{\mu}_C(x)]$  – интервальные оценки функции принадлежности параметра  $x$  нечеткому множеству

$C, C = A \cap B; [\underline{\mu}_M(x), \bar{\mu}_M(x)]$  – интервальные оценки функции принадлежности параметра  $x$  нечеткому множеству  $M, M = A \cup B$ .

Прогнозную оценку риска получают при решении нечетких логических уравнений. Эти уравнения получаются на основе матрицы системы логических высказываний и позволяют вычислять значения функций принадлежности решений при интервальных значениях входных параметров модели.

Для приведения к четкости полученных выходных переменных предлагается множество подходов [6]. Однако их применение ограничено случаем нечетких множеств первого рода. В случае использования  $\mathcal{F}$ -нечетких множеств с функцией принадлежности интервального вида для приведения к четкости может быть использован подход с определением максимального среднего значения функции принадлежности т.е.

$$y' = \arg \sup_y \mu_B^{CP}(y), \quad (1)$$

где  $\mu_B^{CP}(y)$  – среднее значение функции принадлежности  $\mathcal{F}$ -нечетких множеств.

Рассмотрим пример получения прогнозной оценки проектного риска с использованием прямого способа нечеткого вывода. Под проектными рисками понимается [1] предполагаемое ухудшение итоговых показателей эффективности проекта, возникающее под влиянием неопределенности. На данный момент единой классификации проектных рисков предприятия не существует. Однако можно выделить следующие основные риски, практически присущие всем проектам: маркетинговый риск, риск несоблюдения графика проекта, риск превышения бюджета проекта, а также общеэкономические риски.

Рассмотрим решение задачи оценки проектного риска, связанного с размещением крупного торгового центра в некотором районе города. В рамках примера рассмотрим следующее множества лингвистических переменных, определяющих проектный риск: емкость рынка; потребительские предпочтения жителей района; покупательная способность жителей; уровень инфляции. Лингвистические переменные, определяющие риск проекта, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Лингвистические переменные, определяющие риск проекта

Лингвистическая переменная	Универсальное множество	Оценочные термины
Факторы маркетингового риска		
Емкость рынка, $x_1$	0, 1	Высокая, средняя, низкая
Потребительские предпочтения жителей данного района, $x_2$		
Покупательная способность жителей данного района, $x_3$	450 – 2000 у.е. (средний доход)	
Уровень инфляции, $x_4$	5, 15 (в %)	

Для оценки лингвистической переменной “риск”  $RP$  будем использовать терм-множество:  $\{r_1 - \text{БОЛЬШОЙ}, r_2 - \text{СРЕДНИЙ}, r_3 - \text{НИЗКИЙ}\}$ .

Структура модели для определения оценки проектного риска может быть представлена в виде

$$RP = f_{RP}(x_1, x_2, x_3, x_4). \quad (2)$$

В соответствии с [6], знания о соотношении (2) для  $RP$  могут быть представлены в виде табл. 2.

Таблица 2

Знания о соотношении (2)

$Y$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
Б	В	Н	Н	В
Б	В	Н	С	В
Б	В	С	С	В
СР	С	С	С	С
СР	С	С	Н	Н
Н	Н	С	С	Н
Н	Н	Н	Н	Н

Используя приведенную таблицу и операции  $\wedge$  ( $\min$ ) и  $\vee$  ( $\max$ ) записывается система логических уравнений, связывающих функции принадлежности решений о величине проектного риска и влияющих на нее переменных:

$$\begin{aligned} \mu^B(r_1) &= \\ &\mu^B(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \wedge \mu^H(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \wedge \mu^H(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \wedge \mu^B(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \vee \\ &\mu^B(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \wedge \mu^H(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \wedge \mu^C(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \wedge \mu^B(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \vee \\ &\mu^B(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \vee \mu^C(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \wedge \mu^C(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \wedge \mu^B(\underline{x}_4, \bar{x}_4); \\ \mu^{CP}(r_2) &= \\ &\mu^C(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \wedge \mu^C(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \wedge \mu^C(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \wedge \mu^C(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \vee \\ &\mu^C(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \wedge \mu^C(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \wedge \mu^H(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \wedge \mu^H(\underline{x}_4, \bar{x}_4); \\ \mu^H(r_3) &= \\ &\mu^H(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \wedge \mu^C(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \wedge \mu^C(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \wedge \mu^H(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \\ &\vee \mu^H(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \wedge \mu^H(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \wedge \mu^H(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \wedge \mu^H(\underline{x}_4, \bar{x}_4). \end{aligned}$$

Далее определяется функция принадлежности нечетким термам входных параметров нечеткой производственной модели  $x_i$ . Для иллюстрации рассмотрим определение функции принадлежности для переменной  $x_4$  – уровень инфляции. Эта переменная определена на универсальном множестве  $U(x_4) = (5, 15)$  с помощью нечетких термов

$$T(x_1) = (\text{низкая}, \text{средняя}, \text{высокая}).$$

С использованием известных алгоритмов [6] получаем следующие нечеткие множества

$$\begin{aligned} \text{«инфляция низкая»} &= \\ &= (1/5; 0,78/7,5; 0,56/10; 0,33/12,5; 0,11/15); \\ \text{«инфляция средняя»} &= \\ &= (0,56/5; 0,81/7,5; 1/10; 0,81/12,5; 0,56/15); \\ \text{«инфляция высокая»} &= \\ &= (0,11/5; 0,33/7,5; 0,56/10; 0,78/12,5; 1/15). \end{aligned}$$

Этим термам соответствуют графики на рис. 1.

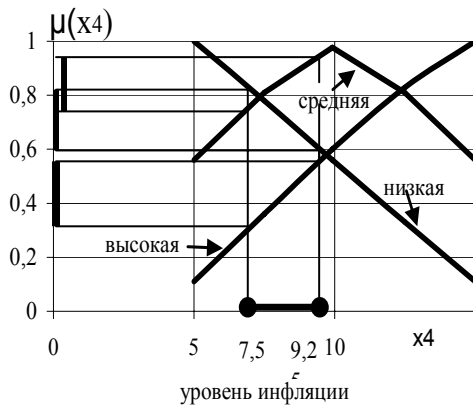


Рис. 1. Функции принадлежности для ЛП *уровень инфляции*

Значение функции принадлежности  $x_4 = [7,5; 9,2]$  соответствующим нечетким термам имеют вид:  
 $\mu^H(x_4, \bar{x}_4) = [0,6; 0,82]$ ;  $\mu^{CP}(x_4, \bar{x}_4) = [0,78; 0,95]$ ;  
 $\mu^B(x_4, \bar{x}_4) = [0,31; 0,58]$ .

Аналогично, с использованием представленного алгоритма могут быть найдены значения функции принадлежности для всех лингвистических переменных, определяющих величину риска. Интервальные значения функции принадлежности входных параметров  $x_i$  представлены в табл. 3.

Таблица 3  
 Интервальные значения функции принадлежности входных параметров  $x_i$  модели

ЛП, $x_i$	Оценочные термы		
	низкий (Н)	средний (СР)	высокий (В)
$x_1$	[0,34; 0,45]	[0,56; 0,61]	[0,89; 0,91]
$x_2$	[0,67; 0,72]	[0,45; 0,64]	[0,23; 0,34]
$x_3$	[0,41; 0,45]	[0,67; 0,78]	[0,88; 0,94]
$x_4$	[0,6; 0,82]	[0,78; 0,95]	[0,31; 0,58]

Определим функцию принадлежности лингвистической переменной RP оценочным термам  $r_1, r_2, r_3$ . Подставим в систему логических уравнений, связывающих функции принадлежности решений о величине проектного риска и влияющих на нее переменных, полученные значения функций принадлежности:

$$\begin{aligned} \mu^B(r_1) &= [0,89; 0,91] \wedge [0,67; 0,72] \wedge [0,41; 0,43] \wedge [0,31; 0,58] \vee \\ &\vee [0,89; 0,91] \wedge [0,67; 0,72] \wedge [0,67; 0,78] \wedge [0,31; 0,58] \vee \\ &\vee [0,89; 0,91] \wedge [0,45; 0,64] \wedge [0,67; 0,78] \wedge [0,31; 0,58] = \\ &= [0,89 \wedge 0,67 \wedge 0,41 \wedge 0,31, 0,91 \wedge 0,72 \wedge 0,43 \wedge 0,58] \vee \\ &\vee [0,89 \wedge 0,67 \wedge 0,67 \wedge 0,31, 0,91 \wedge 0,72 \wedge 0,78 \wedge 0,58] \vee \\ &\vee [0,89 \wedge 0,45 \wedge 0,67 \wedge 0,31, 0,91 \wedge 0,64 \wedge 0,78 \wedge 0,58] = \\ &= [0,31; 0,43] \vee [0,31; 0,58] \vee [0,31; 0,58] = [0,31; 0,58]; \\ \mu^{CP}(r_2) &= [0,56; 0,61] \wedge [0,45; 0,64] \wedge [0,67; 0,78] \wedge [0,78; 0,95] \vee \\ &\vee [0,56; 0,61] \wedge [0,45; 0,64] \wedge [0,41; 0,45] \wedge [0,6; 0,82] = \\ &= [0,56 \wedge 0,45 \wedge 0,67 \wedge 0,78, 0,61 \wedge 0,64 \wedge 0,78 \wedge 0,95] \vee \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\vee [0,56 \wedge 0,45 \wedge 0,41 \wedge 0,6, 0,61 \wedge 0,64 \wedge 0,45 \wedge 0,82] = \\ &= [0,45; 0,61] \vee [0,41; 0,45] = [0,45; 0,61]; \\ \mu^H(r_3) &= [0,34; 0,45] \wedge [0,45; 0,64] \wedge [0,67; 0,78] \wedge [0,6; 0,82] \vee \\ &\vee [0,34; 0,45] \wedge [0,67; 0,72] \wedge [0,41; 0,45] \wedge [0,6; 0,82] = \\ &= [0,34 \wedge 0,45 \wedge 0,67 \wedge 0,6, 0,45 \wedge 0,64 \wedge 0,78 \wedge 0,82] \vee \\ &\vee [0,34 \wedge 0,67 \wedge 0,41 \wedge 0,6, 0,45 \wedge 0,72 \wedge 0,45 \wedge 0,82] = \\ &= [0,34; 0,45]. \end{aligned}$$

Таким образом, для рассматриваемого иллюстративного примера риск при размещении торгового центра на территории района будет *средним* поскольку на это значения ЛП *риск* приходится максимум среднего значения функции принадлежности (0,53). Соответственно, *риск большой* = 0,44, и *риск низкий* = 0,39. В случае, если для ЛПР этот уровень риска является неприемлемым, ему рекомендуется уточнить отдельные показатели проекта или рассмотреть альтернативные варианты.

### Выводы

Таким образом, предложенный подход к определению прогнозной оценки риска позволяет использовать ЛПР имеющуюся на этапе качественно-количественного анализа информацию обо всех факторах, влияющих на эффективность проекта, независимо от их природы и точности представления. Процесс идентификации рисков с использованием предложенного подхода может привести к определению первоклассной стратегии с самого начала проекта, поскольку позволяет учесть возможное влияние неблагоприятных факторов. Применение нечетких продукционных моделей для получения прогнозных оценок выходных параметров ориентировано на переход от использования нечетких множеств первого рода к нечетким множествам интервального типа, что расширяет сферу применения нечетких продукционных моделей.

### Список литературы

1. Мескон Х. Основы менеджмента: пер. с англ. / Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – М.: Дело, 1992. – 702 с.
2. Балабанов И.Т. Основы финансового менеджмента. Как управлять капиталом? / И.Т. Балабанов. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 384 с.
3. Авдеев А.М. Экономические показатели инвестиционных проектов в условиях инфляции / А.М. Авдеев, В.И. Павловец // Экономика и коммерция. – 1994. – № 3. – С. 37-41.
4. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.
5. Аверкин А.Н. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блишун. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
6. Тэрано Т. Прикладные четкие системы / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугано. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

Поступила в редколлегию 13.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Бильчук, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ОЦІНКИ РИСКУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОГО ВИВОДУ

Є.В. Брежнев, А.А. Адаменко

*В статті запропоновано використовувати нечіткі продукційні моделі для отримання оцінки ризику на етапі якісно-кількісного аналізу для задачі оцінки проектного ризику. Особливістю використання алгоритмів нечіткого виводу при вирішенні задачі прогнозу є використання алгебри  $\mathcal{F}$ -нечітких множин із функцією приналежності інтервального виду. Для приведення до чіткості запропоновано підхід максимального середнього значення функції приналежності.*

**Ключові слова:** проектний ризик, прогноз, нечіткі продукційні моделі,  $\mathcal{F}$ -нечіткі множини, функції приналежності інтервального виду.

## THE PROGNOSIS METHOD OF RISK ESTIMATION BASED ON FUZZY INFERENCE

E.V. Bregznev, A.A. Adamenko

*The using of Rule Based Fuzzy Models for estimation of project risk level in the stage of qualitatively-quantitative analysis is suggested in the article. The feature of algorithm fuzzy forward-chaining reasoning while solving a prognosis task is application of algebra of  $\mathcal{F}$ -fuzzy sets with membership function of interval form. The defuzzification approach is based on maximum criterion of middle of membership function.*

**Keywords:** project risk, prognosis, unclear models of products,  $\mathcal{F}$ -fuzzy sets, functions of belonging of interval kind.